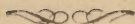
16

SULL'ELETTROTONO

PRIMARIO E SECONDARIO

DEI NERVI

NOTA

DI JAC. MOLESCHOTT

TORINO
STAMPERIA REALE
1870.

Estr. dagli *Atti della Reale Accademia delle Scienze di Torino*, Vol. V.
Adunanza del 5 Dicembre 1869.

SULL'ELETTROTONO

PRIMARIO E SECONDARIO

DEI NERVI

I dubbi recentemente espressi intorno a quell'elettrotono che il Du Bois-Reymond assegnò ai nervi come fenomeno loro particolare, m'indussero ad eseguire numerose sperienze, le quali, se hanno confermato me stesso nell'accogliere le asserzioni emesse in proposito dal fisiologo berlinese, accolte pure dalla maggioranza dei naturalisti, potranno forse non essere disutili a quei cultori della fisiologia, i quali dalla tradizione, anzichè da propria sperienza, impararono a conoscere la scrupolosa prudenza colla quale il Du Bois-Reymond ha ricavato importanti conclusioni da variatissimi cimenti. Difficile impresa sarebbe trovare un altro investigatore, il quale potesse al campo da esso lui perlustrato applicare il motto cesareo: *veni, vidi, vici:* con maggior diritto di quello che sortirono i lavori del Du Bois-Reymond sull'elettricità animale. Il quale effetto non solo si spiega per l'eminente autorità, che seppe meritarsi il prelodato fisiologo, ma pur anche dalla fortunata circostanza che ben pochi saranno i fisiologi, vuoi in qua, vuoi in là delle Alpi, i quali non abbiano con lieve fatica constatato i fatti fondamentali da esso scoperti. Dalla conferma dei fatti più spiccanti ne

risultò fiducia sì grande, da far accogliere senza esitazione buon numero di sperimenti di natura più difficile e delicata a cui poggiano le dottrine del Du Bois-Reymond; ma certo è che quelle ulteriori sperienze vennero da pochi ripetute, o almeno che di tal ripetizione la letteratura scientifica non offre che deboli traccie.

Mentre il Du Bois-Reymond riguarda l'elettrotono come un cambiamento delle proprietà elettriche che risiedono nel nervo, altri naturalisti invece opinano che fenomeni perfettamente analoghi competano a molti altri corpi, ed in ispecie a tali che si scostano dallo stato vitale delle sostanze organiche, al punto che alcuni fisici insigni affermano, che quei fenomeni che presenta un nervo, qualora un tratto di esso vien percorso da una corrente costante, si sovrappongano ad esso in via estrinseca, anzichè emanarne come un carattere suo proprio. Quel cambiamento, secondo gli ultimi, costituirebbe un fenomeno di spettanza della fisica generale piuttosto che rappresentare un carattere speciale, e ligio soltanto alla natura dei nervi. Io abbandono qui la vertenza se o in quanto altri corpi diano luogo a fenomeni paragonabili all'elettrotono nerveo, rammentando che il nostro compianto Matteucci (1), il Cantoni (2) ed Eccher (3) se ne sono occupati, mentre

(1) Carlo Matteucci, *Sulla teoria fisica dell'elettrotono dei nervi.* Volumi dell'Accademia dei XL residente in Modena, ser. III, tomo I, Parte II.

(2) Giovanni Cantoni, *Sperimenti e considerazioni di alcuni punti di elettro-chimica e elettro-fisiologia.* Rendiconti dell'Istituto Lombardo, serie II, vol. I, p. 277 (1868).

(3) Eccher, *Esperienze sopra l'elettrotono che si sviluppa nei fili di zinco amalgamato e platino, foderati con uno strato uniforme di filo di cotone o di lino imbevuto di liquido.* Il Nuovo Cimento, tomo XXVIII, p. 171 e seg.

io non posseggo sperienze in proposito. Ma vorrei qui esporre quello che io stesso vidi nel nervo, essendochè mi sono persuaso che di un elettrotono del nervo dovrà parlarsi, qualunque, per avventura, risulterà la soluzione del sovraccennato problema di fisica generale.

L'effetto elettrotonico di una corrente costante mandata a traverso un tratto di nervo, siccome è noto ai fisiologi, consiste in un aumento della corrente elettrica propria al nervo, in quella parte di esso, in cui la corrente eccitante della pila e la nervea hanno la medesima direzione, mentre la corrente del nervo decresce in quella parte, in cui esso ha la direzione inversa della corrente della pila. Poichè questi effetti sarebbero spiegabili nel caso che la corrente, destinata ad eccitare il nervo, mandasse delle correnti derivate nel tratto del nervo compreso nell'arco galvanometrico, prima cura del Du Bois-Reymond si fu l'investigare se tale derivazione dovesse ammettersi. Ed egli la confutò con una sperienza stringente abbastanza, da fare a meno di qualsiasi altro argomento: avendo cioè tagliato il nervo fra il tratto percorso dalla corrente della pila — che d'ora innanzi chiameremo il *tratto eccitato* — ed il tratto compreso fra i cuscinetti del galvanometro — il quale col Du Bois-Reymond chiameremo il *tratto derivato* — i fenomeni dell'elettrotono non appaiono più, per quanto bene si riaccostino le sezioni trasversali dei due capi del nervo.

Fino ai tempi più recenti non venne combattuta questa sperienza fondamentale, nè consta a me che altri l'abbia riconfermata. Matteucci fu il primo ad intaccare non già il valore dell'argomento, ma bensì la costanza dell'effetto dal Du Bois-Reymond predicato. In conseguenza io ho istituito buon numero di sperienze nei nervi dell'uomo, del

cane e della rana, dalle quali sperienze risulta che lo stato elettrotonico del nervo non si ottiene più, essendo reciso il nervo fra il tratto eccitato ed il tratto derivato, e riadatte a buon contatto le sezioni trasversali dei pezzi del nervo. Il che naturalmente non esclude che correnti derivate possano dalla pila eccitante penetrare nel tratto derivato del nervo, bastando a ciò che o la resistenza elettrica nel punto tagliato venga abbastanza indebolita, o sufficientemente accresciuta la forza della corrente elettrica che serve ad eccitare il nervo. Adoperando però da una a quattro coppie del Grove riunite in tensione, le deviazioni dell'ago galvanometrico prodotte da quelle correnti derivate, sono di un ordine tanto inferiore da non potersi paragonare all'incremento — positivo o negativo — che la corrente propria del nervo presenta allo stato elettrotonico.

Così, per dare un esempio di questa differenza, nel nervo mediano di un braccio umano appena amputato (1), per un tratto che aveva prodotto nell'ago galvanometrico una deviazione costante di 45°, io vidi nascere un elettrotono, il quale nella fase positiva, come nella negativa, spingeva l'ago fino all'ostacolo; ma tagliato poi il nervo fra il suo tratto eccitato e quello derivato, e ristabilito un buon contatto fra le sezioni trasversali dei due monconi, l'arco impulsivo, nella fase positiva, non era che di 8°, e nella negativa di soli 7°, quantunque, eccetto quel taglio, nulla fosse cambiato nelle condizioni della sperienza. Nè posso credere che il Matteucci abbia osservato

(1) Mi piace di dichiararmi obbligato alla gentilezza del signor Dott. Novara dell'aver avuto nel mio laboratorio il braccio in quistione, mezz'ora dopo che fu amputato, in un bel giorno di primavera, addì 2 aprile 1869.

fatti molto diversi, imperocchè anch'egli asserisce, che dopo il taglio si ottengono deviazioni minori assai (1). Ora chi vuol riflettere, che dopo il taglio, in casi eccezionali, si verificano delle deviazioni di molto più piccole, e che nel numero di gran lunga maggiore delle sperienze, l'ago restava immobile coll'applicazione di una corrente la quale, immediatamente prima del taglio, elettrotonizzava fortemente il nervo, non sarà alieno dall'ammettere quelle rare eccezioni, come dovute a correnti derivate, e non da confondersi cogli effetti dell'elettrotono.

Ebbi l'onore di dimostrare il fatto in proposito, al mio illustre amico Gilberto Govi, il quale esternava il dubbio, se il riaddattare le sezioni trasversali del nervo a mutuo contatto, potesse riuscire abbastanza bene, per eliminare ogni sospetto, che per avventura la causa del fenomeno assai ridotto, oppure estinto, risiedesse in un aumento qualsiasi della resistenza elettrica nel punto di contatto.

Ho cimentato questo dubbio nel modo seguente. Se dopo il riaccostarsi delle sezioni del nervo a contatto, rimanesse un jato da porre un ostacolo più o meno invincibile al passaggio di una corrente estrinseca, effetti simili dovrebbero incontrarsi, qualora il nervo venisse reciso in mezzo, sia al tratto derivato, sia al tratto eccitato. Ma la cosa non è così. Anzi, la corrente propria del nervo, dopo tagliato il tratto compreso fra i cuscinetti del galvanometro, può indurre archi impulsivi e deviazioni costanti dell'ago non minori di prima. Il che, se non si verifica ordinariamente, tuttavia le deviazioni si riducono di meno assai, che non sia il caso, quando, dopo il taglio fra il

(1) Matteucci, *l. l.* p. 4, dove dice: « se si taglia mettendo bene » in contatto le due sezioni, l'elettrotono persiste ancora, benchè » resti grandemenle indebolito ».

tratto eccitato ed il derivato, si ottengono, in via eccezionale, deviazioni che corrispondono alle regole dell'elettrotono; non mai poi manca la deviazione, che dipende dalla propria corrente del nervo, se questo sia reciso in un punto del tratto derivato. In modo uguale, persiste il conducimento elettrico, quando il nervo sia tagliato fra gli elettrodi, che conducono ad esso la corrente eccitante. Imperocchè, dopo la recisione eseguita nel tratto indicato, mi toccò osservare non solo uguali, ma talvolta perfino maggiori incrementi elettrotonici — positivi o negativi —, che non ottenessi prima del taglio.

Queste sperienze ribattono quindi l'ipotesi, che l'estinzione od il considerevole affievolimento dei fenomeni, compresi sotto il nome di elettrotono nerveo, possano derivare da un aumento della resistenza elettrica, che dovrebbe vincersi nella regione del contatto fra i due capi del nervo reciso.

Ciò non di meno, ho voluto tentare di diminuire la resistenza nel luogo del taglio fra il tratto eccitato ed il derivato, coll'accrescere l'estensione della sezione trasversale ed il moltiplicare i punti di contatto nel luogo critico. A tal uopo, io circondava i monconi adattati l'uno all'altro di piccoli pezzi di sostanza tendinea, di pelle di rana, di nervi o di muscoli, i quali ultimi — nervi o muscoli — col loro asse longitudinale erano collocati perpendicolarmente a quello del nervo preso in disamina. L'evento più frequente si era che anche con siffatto metodo la deviazione, in cui la corrente propria del nervo teneva fermo l'ago galvanometrico, non presentava alcuna oscillazione che rammentasse l'elettrotono. La quale se in via eccezionale si otteneva sotto l'applicazione di quattro coppie del Grove riunite in tensione, null'altra conse-

guenza se ne può inferire se non la possibilità di regolare siffattamente la forza delle correnti, di proporzionare cioè la forza elettromotoria alla resistenza in tal modo che delle correnti derivate, attraversando il luogo del contatto de' due capi del nervo, possano giungere nel tratto di esso che si trova compreso nell'arco galvanometrico. Giova qui ricordare che il Du Bois-Reymond, facendo le sue ricerche sull'elettrotono, soleva adoperare una sola coppia di Grove per eccitare il nervo (1). Con una corrente così debole, ed in vista di quel cattivissimo conduttore che è il nervo per l'elettricità, rimaneva escluso il timore che correnti derivate potessero irrompere nell'arco galvanometrico. Inoltre il Du Bois-Reymond, sperimentando con fili di refe bagnati, di grossezza analoga a quella dei nervi della rana, non potè riscontrare effetti elettrotonici, quantunque si servisse di una pila composta di sei coppie di Grove. Siccome i più recenti autori che scrissero sull'argomento (il Matteucci ed il Cantoni) non accennano queste sperienze già da vent'anni istituite dal fisiologo berlinese, mi sembra meritevole di essere qui riportato il passo seguente dall'opera del Du Bois-Reymond: « Dalla forte cor-
» rente di una pila a sei coppie di Grove non passa alcuna
» traccia rilevabile dal galvanometro, mentre l'arco di esso
» comprende un tratto di refe inbevuto di acqua, saliva,
» sangue, o di una soluzione salina, essendo quel refe
» assai più grosso del nervo sciatico della rana, e la di-
» stanza fra gli elettrodi ed i cuscinetti non maggiore di
» due millimetri (2) ».

Stabilito in regola, che dopo la recisione del nervo fra

(2) Emil Du Bois-Reymond, Untersuchungen über thierische Electricität. Vol. II, pag. 295, 1849, Rerlin.

(2) Du Bois-Reymond, *l. l.* p. 295 e 329 e seg.

il suo tratto eccitato ed il derivato, la corrente di una pila non cambia la deviazione dell'ago galvanometrico, quantunque, prima del taglio, la medesima corrente avesse prodotto un considerevole incremento elettrotonico, mi preoccupava di quei casi fra le eccezioni in cui per la corrente eccitante cambiavasi — di poco, è vero — la deviazione dell'ago, ma in senso precisamente contrario, di quello che l'elettrotono avrebbe dato nel nervo intiero, manifestandosi cioè *negativo* l'incremento, qualora la corrente eccitante e la propria del nervo aveano la *medesima* direzione, *positivo*, invece, sempre quando l'una delle correnti si dirigeva nel senso *contrario* dell'altra. Mi venne fatto di osservare cotali esempi, sovratutto nei nervi più grossi dell'uomo e del cane, e ciò appunto quando, esercitando un poco di pressione, aveva spinto le sezioni trasversali dei capi del nervo al più intimo contatto possibile, nella speranza che nessun jato li tenesse disgiunti. Dalle cifre raccolte nel mio taccuino risulta come queste deviazioni, che sul principio mi sembravano paradosse, non oltrepassavano i 3°, e per lo più, non erano che da 1° a 2° 1/2.

Se non che del loro carattere enigmatico andavano spogliandosi quei casi eccezionali, in grazia di una serie di sperienze, nelle quali, tagliato il nervo, io cercava di aumentare i punti di contatto, coll'addossare l'uno all'altro i due capi per un certo tratto della loro lunghezza, così che si toccavano pel neurilema. Ho ripetuto assai sovente quest'esperienza, e purchè la deviazione dell'ago subisse un cambiamento, questo era sempre contrario alla fase elettrotonica, che competeva al nervo direttamente eccitato. E tali cambiamenti della deviazione, colla maniera di contatto poc'anzi descritta, non formavano più l'eccezione, ma piuttosto la regola. Furono bensì sovente piccoli

i cambiamenti, anzi talvolta non si rivelavano che per una tendenza a nuova deviazione, sempre però in senso inverso di quella che avrebbe corrisposto all'elettrotono primitivo. Non erano poi troppo rade delle deviazioni più grandi, fino a 8° e 10°, anzi, nello sciatico del cane ebbi una volta ad osservare deviazioni di 19° per ambedue le fasi.

In analogia della cosidetta contrazione secondaria del muscolo, il fenomeno qui descritto ed osservato pure dal Du Bois-Reymond (1), può designarsi col nome di elettrotono secondario.

I tratti longitudinali, coi quali i monconi del nervo si toccavano nelle mie sperienze, erano così collocati che le sezioni trasversali erano dirette in senso opposto (2). Siffattamente un nervo formava per l'altro un circuito secondario, il quale, a modo del filo galvanometrico, doveva condurre la corrente di esso, dalla sezione longitudinale alla sezione trasversale, ossia il circuito secondario nerveo riceveva la corrente dell'altro moncone nella direzione dalla propria sezione trasversale verso la longitudinale. Ma quest'ultima essendo la direzione della corrente propria del nervo, ne viene di conseguenza, che la corrente dell'uno dei monconi rinforza quella dell'altro. Nel momento dunque in cui il tratto del nervo primitivamente eccitato, passa nella fase elettrotonica positiva, si rinforza maggiormente la corrente in quel tratto dell'altro nervo che al primo stabilisce un circuito secondario. Ed essendo contraria la direzione di questa corrente a quella del tratto del medesimo moncone che è compreso

(1) *L. l.* p. 514 e seg.

(2) Siccome si vede rappresentato presso il Du Bois-Reymond nel vol. II, nella tavola II, fig. 138.

nell'arco galvanometrico, quest'ultimo deve presentare l'incremento negativo, mentre il positivo si manifesta nel primo. E viceversa, mantenendo la qui scelta disposizione, se l'elettrotono primario è negativo, deve farsi positivo il secondario.

Alcune volte ho potuto osservare un debole elettrotono di terzo ordine, il quale naturalmente presentava pel suo incremento i segni medesimi che si sarebbero ottenuti per l'elettrotono primario. Quando il Du Bois-Reymond pubblicava l'insieme delle sue ricerche sull'elettrotono, non aveva ancora osservato fenomeni elettrotonici di terzo ordine (1).

Le esperienze testè riferite, le quali, non rammentandomi delle anteriori del Du Bois-Reymond, ho ripetute assai sovente, spiegano anzitutto quelle piccole deviazioni paradosse ottenute dopo il taglio del nervo, e dopo di aver rimesso in intimo contatto le sezioni trasversali dei due monconi. Quelle deviazioni in sulle prime mi parevano paradosse, perchè contrarie al senso delle fasi elettrotoniche del nervo intiero. Ora invece è chiaro che premendo l'una contro l'altra le sezioni trasversali di due monconi di nervo, coll'invaginarsi le fibre dell'uno fra le fibre dell'altro, senza ripiegarsi, si verificano le condizioni per generare l'elettrotono secondario. Il quale, se in queste circostanze non era mai grande, corrisponde appunto a quello che doveva aspettarsi dal contatto longitudinale di pochi filamenti nervosi per tratti brevissimi.

Ma non meno chiaro risulta che i fatti qui descritti escludono l'idea di correnti derivate, che penetrino nell'arco del galvanometro. Che se il nervo, in queste sperienze,

(1) Du Bois-Reymond, *l. l.* p. 543.

fosse da considerarsi come un semplice conduttore della corrente elettrica, allora le deviazioni dell'ago, che qui si offrono come l'espressione degli elettrotoni, primario e secondario, non dovrebbero presentarsi in senso opposto, ma avere direzione identica. Ora essendo contrari i fatti a tale supposizione, noi dobbiamo vedere nell'elettrotono secondario, una conferma di quanto il Du Bois-Reymond ha dedotto dalla scomparsa dell'elettrotono, dopo che il nervo venne reciso, fra il suo tratto eccitato ed il derivato, e riaccostate le due sezioni trasversali. La quale conferma, se dal Du Bois-Reymond non è stata appositamente messa in rilievo, tal omissione, a mio credere, si spiega dal fatto, che il cimento col nervo tagliato rende superfluo qualsiasi argomento ulteriore.

Chi poi, appoggiandosi a fatti che a me sembrano irreprobabili, riconosce quel cimento, non vorrà neppure ricorrere alla polarizzazione elettrolitica, per ispiegare i fenomeni dell'elettrotono, fosse pur anche che questa spiegazione per altri rispetti avesse nulla di spinoso (1).

(1) Vedi oltre i lavori citati del Matteucci e del Cantoni, le ricerche di Gruenhagen, riferite dal Meissner nel suo Rapporto annuo per il 1864, p. 411 e seguenti.